

Związki jednoskładowe. Przyczyna różnorodności w ich własnościach. Rodniki. Skład racjonalny. Formuły empiryczne i racjonalne. Gdzie się kończą pewniki a zaczynają przypuszczenia. Znaczenie formuł racjonalnych, uważanie ich za formuły rozkładowe lub układowe.

Kiedy po dokonaniu wielkiej liczby rozbiórów, przekonano się, że ogromna większość związków organicznych składa się z czterech tylko pierwiastków, przyczynę różnorodności w ich własnościach upatrywano w niejednakiej ilości stosunkowej, w jakiej właściwe pierwiastki w skład tych związków wchodziły. Tak jak tłumaczymy sobie różnorodność tlenku i dwutlenku azotu tén, że w pierwszym (NO) na 14 cz. azotu na wagę znajduje się 8 cz. tlenu, a w drugim (NO_2) na tę samą ilość azotu 16 cz. tlenu, tak tłumaczono sobie różnicę w własnościach alkoholu i eteru tén, że w alkoholu na 24 cz. węgla na wagę, znajduje się 6 cz. wodoru i 16 cz. tlenu, a w eterze na tę samą ilość węgla 5 cz. wodoru i 8 cz. tlenu.

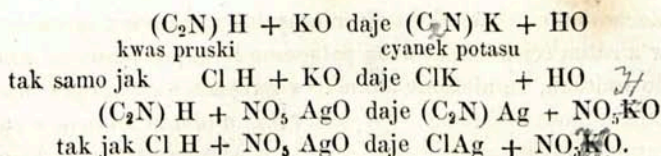
Przypuszczenie to tak proste ustąpić jednak musiało wkrótce przed oczywistością licznych faktów, które w zupełnej stanęły z nié sprzeczności. Powoli bowiem odkryto wielką liczbę związków, które posiadają zupełnie odmienne własności, pomimo że w skład ich wchodziły te same pierwiastki, w jednakiej ilości stosunkowej. Tak na przykład ciała tak odmienne jak cukier owocowy i kwas octowy, lub jak aldehyd, kwas masłowy i eter octowy, złożone są wszystkie z węgla, wodoru i tlenu, w jednym i tym samym stosunku; skład ich procentowy jest ściśle jednakowy a własności różne. Związki tego rodzaju, nazywają chemicy związkami *izomerycznymi*, czyli j e d n o s k ł a d o w e m i. Przyczynę różnicy w własnościach związków jednoskładowych należało szukać w czém inném jak w ilości stosunkowej pierwiastków, mianowicie w różném ułożeniu atomów.

Podług hipotezy atomistycznej przyjmujemy, że połączenia chemiczne powstają przez ułożenie się obok siebie drobnych cząstek ciał różnorodnych, cząstek chemicznie niepodzielnych, przyciągających się między sobą, cząstek, które nazywamy atomami. Widzieliśmy na wstępie do wykładu chemii mineralnej, jak doskonale hipoteza atomistyczna tłuma-

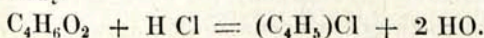
czy prawo stosunków stałych i wielokrotnych i zachowanie się ciał względem ciepła; widzieliśmy jak w ogóle hipoteza ta pozostaje w zgodności ze wszystkimi objawami chemicznymi i fizycznymi.

Jeżeli związek jaki, jak na przykład kwas solny: HCl składa się tylko z dwóch pojedynczych atomów, nie ma powodu przypuszczać, aby ułożenie względem siebie tych atomów, kształtu kulistego, mogło być różne; lecz jeżeli w skład danego związku wchodzi większa liczba atomów, ułożenie ich może być bardzo różnorodne. I tak gdybyśmy wzięli za przykład kwas węglany: CO_2 związek bardzo prosty, złożony z jednego atomu węgla i dwóch atomów tlenu, już się pytać można jakie jest ułożenie tych trzech pojedynczych atomów. Czy atom węgla znajduje się w pośrodku dwóch atomów tlenu (OCO), czy dwa atomy tlenu leżą po za atomem węgla (COO), czy w tym ostatnim wypadku drugi atom tlenu mniej silnie jest spojony z węglem jako mniej przezeń przyciągany, i czy dlatego może kwas węglany rozkłada się w wielu razach na $\text{CO} + \text{O}$, a nie na $\text{C} + 2\text{O}$, czy więc chcąc wyrazić to jego zachowanie, należałoby mu dać formułę (CO) O ,—czy nareszcie nie mogłyby istnieć dwa związki różne, z których jeden miałby ułożenie: OCO , drugi zaś COO , i czy takie dwa związki nie miałyby różnych pod pewnemi względami własności chemicznych i fizycznych.

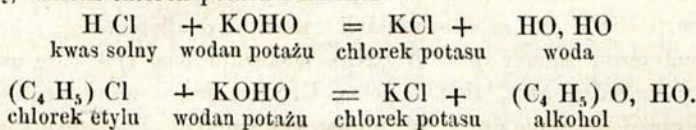
Rzeczywiście badając uważnie przemiany jakich doznają rozmaite związki działaniem jednych i tych samych czynników, lub jedne i te same związki działaniem różnych czynników, przychodzimy koniecznie do wniosku, że przyciąganie pomiędzy pojedynczemi atomami danych związków jest różne, gdyż pewne grupy atomów są wyraźnie ściślej ze sobą połączone, niż z resztą atomów w skład danego związku wchodzących. Grupy takie złożone z różnej liczby atomów, dwóch, trzech, lub więcej pierwiastków, zachowują się w wielkiej liczbie przemian chemicznych jako całość, wchodzi w związek z ciałami pojedynczemi, wymieniane być mogą na zasadzie podwójnej wymiany za ciała proste. Grupy takie pozostające nienaruszonymi w wielkiej liczbie reakcyi chemicznych, odgrywające przy wielu przemianach rolę pierwiastków, nazywamy *rodnikami* złożonemi lub wprost *rodnikami*. Tak na przykład zachowanie związku C_2NH , zwanego kwasem pruskim, upoważnia nas do przypuszczenia, że dwa atomy węgla w tym związku są ściślej połączone z azotem niż z wodorem. Grupa ta: C_2N zwana *cyanem*, w wielkiej liczbie przemian, jakich kwas pruski doznać może, wymieniana się poprostu za inne pierwiastki. I tak:



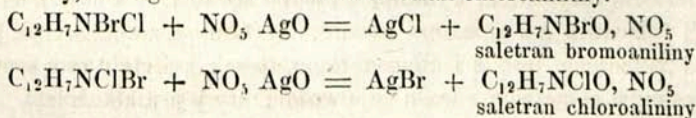
Zachowanie chemiczne alkoholu, którego skład wyrażony jest formułą: $C_4H_6O_2$ upoważnia nas również do przypuszczenia, że w alkoholu 4 atomy węgla, z 5 atomami wodoru są ściślej połączone niż z ostatnim atomem wodoru i dwoma atomami tlenu. W największej bowiem liczbie przemian jakich alkohol doznaje, grupa ta: C_4H_5 pozostaje nienaruszoną. Tak na przykład działaniem kwasu solnego na alkohol otrzymujemy związek C_4H_5Cl i wodę:



Grupę: C_4H_5 uważamy za rodnik i nazywamy *etylem*. Związek jej z chlorem, związek zwany chlorkiem etylu, zachowuje się w wielu razach tak jak związek chloru z pierwiastkiem, jak np. związek chloru z wodorem. Działaniem wodoru potażu ten ostatni daje chlorek potasu i wodę, tamten chlorek potasu i alkohol:



Łatwo teraz pojąć, że w dwóch związkach, złożonych z tej samej liczby atomów tych samych pierwiastków, znajdować się mogą różne grupy ściślej ze sobą połączone i że z tego powodu zachowanie i własności tych związków mogą być różne. Weźmy najprostszy przykład dla objaśnienia tego twierdzenia. Znamy dwa związki składu: $C_{12}H_7NClBr$. Jeden z nich działaniem saletranu srebra daje chlorek srebra i saletran bromoaniliny, a drugi bromek srebra i saletran chloroaniliny:



W pierwszym więc grupą $C_{12}H_7NBr$ jest ściślej ze sobą połączona niż z chlorem, w drugim zaś grupą $C_{12}H_7NCl$ jest ściślej ze sobą połączona niż z bromem. Pierwszy związek jest chlorkiem bromoanilinu, drugi bromkiem chloroanilinu:

1. $[C_{12}(H_7Br)N]Cl$.
chlorek bromoanilinu
2. $[C_{12}(H_7Cl)N]Br$.
bromek chloroanilinu

Zachowanie to związków chemicznych, wykazujące że różne grupy atomów z różną ścisłością ze sobą połączone bywają, prowadzi nas koniecznie do wniosku, że ułożenie atomów w związkach chemicznych jedynakowego składu może być różne. W tém różném ułożeniu atomów znajdujemy naturalne wytłumaczenie różnic, jakie w własnościach związków jednoskładowych spostrzegamy, i przychodzimy do przekonania, że na własności danego związku nietylko wywiera wpływ jakość pierwiastków i ich ilość stosunkowa, ale i ułożenie wewnętrzne atomów względem siebie, czyli tak zwana *budowa chemiczna*.

Ponieważ więc z powodów dopiero co przytoczonych formuły sumaryczne, czyli tak zwane formuły empiryczne wykazujące tylko jakość i ilość stosunkową pierwiastków, nie wystarczają do określenia charakteru chemicznego związków organicznych, używamy przeto obok formuł empirycznych tak zwanych formuł racjonalnych. Te ostatnie stanowią dla nas streszczenie zachowania chemicznego danego związku i mają nam dać obraz wewnętrznego ułożenia atomów, jakie ze względu na to zachowanie, okazuje się najwięcej prawdopodobieństwa mającem.

Już w chemii mineralnej używaliśmy formuł racjonalnych, które oparte były na zapatrywaniach systemu dualistycznego. Formuła empiryczna saletry jest NO_3K . Wskazuje ona tylko, że w skład saletry wchodzi azot, tlen i potas i że na jeden atom azotu czyli na 14 części na wagę azotu, znajdujemy w saetrze sześć atomów, czyli 48 cz. na wagę tlenu i 1 atom czyli 39,1 cz. na wagę, potasu. Formuła racjonalna NO_3KO przez dualistów używana, wyraża przypuszczenie, że w saetrze 14 cz. azotu, z 40 cz. tlenu są ściślej połączone na bezwodnik azotny, który jako całość połączony jest z potażem, drugą grupą o dwóch pierwiastkach, złożoną z 39,1 cz. potasu i 8 cz. tlenu. Tak samo formuła $\text{C}_4\text{H}_6\text{O}_2$ będzie formułą empiryczną alkoholu, a formuła $(\text{C}_4\text{H}_5)\text{O}$, HO formułą racjonalną, wyrażającą przypuszczenie, że 4 atomy węgla są ściślej połączone z 5 atomami wodoru, że ta grupa zwana etylem jako całość połączona jest z 1 atomem tlenu, tlenek zaś etylu tym sposobem utworzony w połączeniu z wodą daje wodań, który jest alkoholem.

Nienależy sądzić, aby jakakolwiek formuła racjonalna przez nas używana, wewnętrzną budowę związku wyobrażać mająca, była rzeczą matematycznie dowiedzioną. Formuły te w dzisiejszym stanie nauki oparte są jedynie na prawdopodobieństwie, na zachowaniu ciał, na pewnej liczbie przemian i analogii. Nie mamy jeszcze środków, któreby nam mogły dać rękojmię, że ułożenie atomów jest takie jak je sobie wyobrażamy. Pomimo to jednak formuły racjonalne, jak później zobaczymy, są pierwszorzędnej wagi w nauce, a pewne fakta naukowe, mianowicie pewne spostrzeże-

nia dotyczące się stosunku własności fizycznych do chemicznych, budzą nadzieję, że w przyszłości dojdziemy do stanowczych formuł racjonalnych, to jest do takich formuł, które będą obrazem rzeczywistej budowy związków chemicznych.

Chcąc jednak jasno zapatrywać się na rzeczy, należy w każdej nauce ściśle odróżniać dziedzinę faktów, od dziedziny hipotez, choćby najprawdopodobniejszych. Idąc więc za przykładem *Kekulégo*, zastanówmy się nad tém, co w naszych formułach jest faktem, jak fakt ten jest wyrażony, gdzie wreszcie fakt się kończy, a poczynają przypuszczenia.

Pewnikiem zasadniczym, na którym polegają formuły chemiczne, są stosunki oznaczone w jakich pierwiastki łączą się ze sobą. Stosunki te wyrazić się dają, jak wiadomo, przez pewne liczby, stałe dla każdego pierwiastku lub przez wielokrotne tych liczb. Liczby te nazwane wagami atomowymi, odniesione są do wodoru wziętego za jedność i oznaczają ilość najmniejszą każdego pierwiastku na wagę, jaka może się łączyć z jedną częścią wodoru na wagę. Jeżeli poddamy np. kwas masłowy rozbirowi pierwiastkowemu, to przekonamy się, że składa się on z trzech pierwiastków: z węgla, wodoru i tlenu, i że w 100 cz. kwasu masłowego na wagę znajduje się 54,54 cz. węgla, 9,09 cz. wodoru i 36,37 cz. tlenu. Skład procentowy w ten sposób wykryty, jest faktem niepodlegającym zaprzeczeniu, skoro metody do rozbirowu użyte są dokładne. Fakt ten wyrażamy za pomocą formuły. Obliczamy ile w kwasie masłowym przypada węgla i tlenu na jedną część wodoru na wagę, za pomocą zwyczajnej proporcji. Jeżeli na 9,09 wodoru znajduje się 54,54 węgla, to na 1 wodoru przypada 6 cz. węgla. Podobnie jeżeli na 9,09 wodoru znajduje się 36,37 cz. tlenu, to na 1 cz. wodoru, przypadnie 4 cz. tlenu. Z niezliczonych rozbirowów wiadomo nam, że wagi atomowe węgla i tlenu, są wyrażone przez liczby: 6 i 8. Do oznaczenia takiej ilości najmniejszej węgla i wodoru posługujemy się pierwszymi literami ich nazwy łacińskiej: C i O. W kwasie masłowym przypada, jak widzieliśmy, na 1 cz. wodoru, 6 cz. węgla i 4 cz. tlenu, a zatem na 1 atom H, 1 at. C i $\frac{1}{2}$ at. O, czyli na 2 at. H, 2 at. C i 1 at. O. Formuła więc najmniejsza kwasu masłowego będzie: C_2H_2O .

Formuła ta wyrażać będzie skład procentowy kwasu masłowego, wyrażać będzie fakt oddany za pomocą wzoru chemicznego, na tej umówionej zasadzie, że znaki dla każdego pierwiastku używane, wyrażają tę najmniejszą ilość jego na wagę, jaka się może łączyć z jedną częścią wodoru.

Kwestya teraz zachodzić może, czy mamy pisać formułę kwasu masłowego C_2H_2O , lub $C_4H_4O_2$, lub $C_8H_8O_4$ i t. d. Wszystkie te formuły wyrażają jeden i ten sam skład procentowy. Ponieważ jednak chcemy, aby formuły kwasów organicznych przedstawiały ilości równowa-

żne, to jest ilości jednaki skutek chemiczny wyrzucić mogące, z ilościami wyrażonemi przez formuły używane dla kwasów mineralnych; przeto za pomocą doświadczenia przekonujemy się jeszcze, jaka ilość kwasu masłowego potrzebną będzie do zobojętnienia którejkolwiek znanego składu zasady. Wiadomo nam, że ilości odpowiadające formułom ClH , NO_3HO , SO_3HO to jest 36,5 cz. kwasu solnego, 63 cz. kwasu azotowego, 49 cz. kwasu siarczanego, zobojętniają ilość wapna odpowiadającą formule CaO , czyli 28 cz. wapna na wagę. Doświadczenie przekona nas, że do zobojętnienia takiej ilości wapna, potrzeba będzie użyć 88 cz. na wagę kwasu masłowego. Summa wag atomowych w formule najmniejszej $\text{C}_2\text{H}_2\text{O}$ jest $2 \times 6 = 12 + 2 \times 1 = 2 + 1 \times 8 = 8$ razem 22. Ilość więc kwasu masłowego, mogąca zobojętnić 28 cz. wapna, wyrażoną będzie przez formułę 4 razy większą, to jest przez formułę: $\text{C}_8\text{H}_8\text{O}_4$.

Taki jest wzór empiryczny kwasu masłowego. Wzór ten jest streszczeniem samych faktów, przez doświadczenie osiągniętych. Nie zawiera on w sobie żadnego przypuszczenia i wyraża: 1^o że w skład kwasu masłowego wchodzi trzy pierwiastki, to jest węgiel, wodór i tlen; 2^o że w kwasie masłowym na 8×6 węgla na wagę, znajduje się 8×1 wodoru i 4×8 cz. tlenu na wagę; 3^o że do zobojętnienia 28 cz. wapna, 39,1 potażu, 20 cz. magnezyi i t. d., wyrażonych przez formuły CaO , KO , MgO , potrzeba 88 cz. kwasu masłowego na wagę.

Na wzór empiryczny kwasu masłowego, takie znaczenie mający, wszyscy godzić się muszą i o to sporu między chemikami być nie może.

Lecz jeżeli zapytamy, dlaczego kwas masłowy ma zupełnie różne własności od eteru octowego, w którego skład wchodzi te same pierwiastki, w tej samej ilości stosunkowej, jeżeli zapytamy jakie jest ułożenie atomów w tych związkach, to wprawdzie nauka dzisiejsza daje i na to odpowiedź, ale odpowiedź ta nie stanowi do dziś dnia, ściśle rzeczy biorąc faktu naukowego, tylko przypuszczenie mniej lub więcej prawdopodobne. Tu więc kończy się dziedzina faktów, a zaczyna dziedzina hipotez. Rzecz naturalna, że w kwestyach tego rodzaju zachodzić może różnica zdań i zapatrywań; i tak to się zdarza, że różni chemicy, w jednych i tych samych związkach, przyjmują różne ułożenie atomów i różne podają dla nich formuły racjonalne.

Z pomiędzy formuł racjonalnych prawdopodobnych dla jednego związku, wybierać będziemy tę, która najlepiej tłumaczy jego zachowanie i własności. Formuły racjonalne są dla nas przedewszystkiem środkiem do wyrażenia za pomocą jednego znaku, wielkiej liczby własności chemicznych danego związku, do oznaczenia tym sposobem w jednym wyrazie całego charakteru ciała, grupy do której należy, familii z które-

mi jest spowinowacony i przemian, których z łatwością doznać może. Z tego już stanowiska formuły racjonalne, bez względu na to, czy wyrażają prawdę bezwarunkową lub nie, mają wielkie znaczenie w chemii organicznej i ułatwiają nadzwyczajnie poznanie całej nauki.

Już przy opisie związków mineralnych poznaliśmy do pewnego stopnia wartość racjonalnych formuł. Gdybyśmy na przykład pisali byli wzór soli glauberskiej, $\text{SH}_{10} \text{Na O}_{14}$, to z tego wyrazu żadnego pojęcia o jej zachowaniu miećby nie można. Formuła racjonalna $\text{SO}_3 \text{NaO} + 10 \text{HO}$ mówi nam zaraz, że sól ta zawiera 10 atomów wody, które działaniem ciepła oddalić się dadzą, że pozostałość na zasadzie spraw podwójnej wymiany dawać może siarczany i sole sody, że z chlorem barytu wyda siarczan baryty i chlorek sodu, że z węglem żarzona zredukuje się na siarek sodu i da tlenek węgla, i t. d.

Przy związkach organicznych, gdzie ciągle mamy do czynienia z jednemi i temi samemi pierwiastkami, gdzie formuły wszystkie są ciąglem powtarzaniem znaków tych samych pierwiastków, używanie formuł racjonalnych stanowi nie tylko ułatwienie, ale konieczność, bez której rzeczywście niepodobniestwem byłoby zapamiętać czy to sam skład, czy zachowanie tych związków. Weźmy związki dwa jakiegokolwiek dosyć podobnych wzorów empirycznych, jak np. $\text{C}_4\text{H}_5\text{NO}_4$ i $\text{C}_4\text{H}_5\text{NO}_2$. Te dwa związki różnią się we wszystkich reakcyach. Pierwszy działaniem potażu daje saletron potażu i alkohol, drugi octan potażu i amoniak. Pierwszy jest cieczą żółtawą, która wre w 18° , drugi ciałem stałym, krystalicznym, które topi się dopiero w 78° . Całą ich naturę chemiczną wyjaśniają formuły racjonalne. Pierwszy jest saletronem tlenu etylu $\text{NO}_3(\text{C}_4\text{H}_5)\text{O}$, drugi octamidem $(\text{C}_4\text{H}_5\text{O}_2)\text{H}_2\text{N}$. Formuły te z góry pozwalają nam przepowiedzieć jakie będzie ich zachowanie względem najrozmaitszych czynników.

Niektórzy chemicy, uznając całą ważność formuł racjonalnych i posługując się bezustannie temi formułami, nie uważają ich jednak za wyrażające prawdopodobny układ wewnętrzny atomów, ale tylko za wyrażające pewną liczbę rozkładów jakim dane ciało, stosownie do dokonanych spostrzeżeń, w odpowiednich warunkach podlega. Za przykładem *Gerhardta* chemicy ci nie uważają formuł racjonalnych za *układowe* (Constitutionsformeln) ale za *rozkładowe* (Umsetzungsformeln). Tak np. w przytoczonym powyżej związku $\text{NO}_3(\text{C}_4\text{H}_5)\text{O}$ nie uważają oni grupy C_4H_5 za bliższą część składową, za rodnik w eterze saletrawym zawarty; formuła ta nie wyraża dla nich prawdopodobnej budowy związku, ale ma być tylko streszczeniem takich faktów, jak podany przez nas wyżej, że przy działaniu wodoru potażu, grupa C_4H_5 za potas wymienioną zostaje. Che-

micy ci, jak *np.* *Kekulé*, używają dla jednego związku czasem kilku różnych formuł racjonalnych, stosownie do tego, która daną przemianę chemiczną jaśniej wyraża. Pozostają oni konsekwentnie na polu faktów, wolni od wszelkich przypuszczeń hypotetycznych.

Ze stanowiska logiki nie naturalnie tego rodzaju zapatrywaniom zarzucić nie można; owszem odznaczają się one loicznością w całym znaczeniu tego wyrazu, ale zdaje mi się, że takie pojmowanie formuł racjonalnych, jako wyrazów oznaczających jedynie pewną ilość spostrzeżeń dokonanych, nie może być dla nauki korzystnym.

Aby nie przeceniać znaczenia prawdopodobnych wniosków, które o budowie wewnętrznej związków chemicznych wyprowadzać możemy, staraliśmy się jasno określić wyżej, po jaką granicę idą fakta naukowe, a od jakiego punktu zaczynają się hipotezy. Później jeszcze zobaczymy, na jakiego rodzaju przemianach chemicznych i własnościach fizycznych opieramy sąd nasz, a raczej przypuszczenia nasze o grupach pierwiastków, które jako bliżej ze sobą połączone, jako rodniki w danych związkach istniejące przyjmujemy. To jest tymczasowo wystarczającym do jasnego pojęcia, w jakim położeniu znajduje się obecnie interesująca kwestya wewnętrznej budowy związków chemicznych. Ale gdybyśmy formuły racjonalne uważali jedynie za streszczenie pewnej liczby spostrzeżeń dokonanych, gdybyśmy je więc uważali za wyrażające pewną liczbę rozkładów zauważonych w danych okolicznościach, w takim razie nie moglibyśmy żadnych robić wniosków, pod względem zachowania się danych związków w okolicznościach w jakich ich jeszcze nie badaliśmy. Żadna własność wówczas nie mogłaby być na pewno podana. Wiemy *np.* że kwas cyanowodorny (C_2NH) z saletranem srebra daje osad cyanku srebra i kwas saletrany. Ponieważ przypuszczamy, że w kwasie cyanowodornym znajduje się cyan, przeto z góry powiedzieć możemy, że osad nastąpi, bez względu na to czy kwas cyanowodorny lub saletran srebra będą rozpuszczone w dwóch, pięciu, dziesięciu, piętnastu częściach wody, ale stronnicy formuł rozkładowych, jeżeli chcą być konsekwentni, podawać mogą ten fakt ściśle tylko w tych warunkach, w jakich spostrzeżenia dokonali. Jeżeli osad nastąpił w roztworze w pięciu częściach wody, to jeszcze nie idzie za tem żeby rozkład nie odbył się w innym kierunku, skoro rozpuścimy oba ciała w $5\frac{1}{100}$ cz. wody; jeżeli osad nastąpił w temperaturze 15° , 16° , 17° , nie idzie za tem, że nastąpi w temperaturze 15 i $\frac{1}{100}$ i t. d. Tym więc sposobem, niezliczonej ilości spostrzeżeń potrzebaby dla stwierdzenia jakiegokolwiek bądź najdrobniejszego faktu.

Jasno się z tego okazuje, że zupełnie bez przypuszczeń obejść się niepodobna. Z drugiej strony czyż nie jest dziwacznym *np.* uważać for-

muły takie jak formuła soli glauberskiej $\text{SO}_3\text{NaO} + 10\text{HO}$ za rozkładowe, uważać więc że formuła ta bynajmniej nie ma wyrażać, że woda w soli glauberskiej znajduje się gotową, ale tylko że się w pewnych okolicznościach, jak np. przy ogrzaniu, woda z soli glauberskiej wydziela. Skoro widzimy, że siarczan sodu bezwodny łączy się z wodą bezpośrednio, że wodę tę całkowicie za łada przemianą oddaje, że własności soli bezwodnej nie są więcej zmienione jak związek tak obojętny jak woda zmieniać je może; zdaje się że dość słusznie postawić możemy wniosek, że woda jako taka jest w soli glauberskiej prawdopodobnie zawartą. Wreszcie brak wszelkich hipotez pozbawiłby badania naukowe, owęj myśli przewodniczącej, która nie tylko że na kierunek badań stanowczy wpływ wywiera, ale więcej jak jakakolwiek inna przyczyna jest bodźcem do przedsięwzięcia poszukiwań, dla sprawdzenia hipotezy którą się postawiło, i którą się uważa za wyrażającą rzeczywisty stan rzeczy. Przekonany jestem nawet, że stronnicy formuł rozkładowych nie zdając sobie z tego sprawy, mimowoli czynią przypuszczenia co do wewnętrznej budowy, gdyż w innym razie prace ich nie miałyby tej cechy systematyczności, przez którą przebija wyraźnie chęć stwierdzenia powziętych pod względem składu ciała przypuszczeń.

Chemia dążyć powinna do wykrycia rzeczywistych formuł racjonalnych, do zbadania rzeczywistej budowy wewnętrznej związków chemicznych, tymczasem zaś od formuł racjonalnych żądać można, aby najprawdopodobniejsze przynajmniej ułożenie wewnętrzne wyrażały.



103

Niepewność i niejednostajność zasad, na których oparte są wagi atomowe dotychczas używane. Rozróżnienie atomu i cząsteczki. Wytlumaczenie silniejszego powinowactwa pierwiastków w chwili wydzielania się ze związku. W jednakich objętościach gazów równa ilość cząsteczek. Wnioski ztąd wynikające. Nowe wagi atomowe. Wartość formuł cząsteczkowych.

Wagi atomowe dotychczas przeważnie używane nie stanowią wielkości ściśle do jednej i tej samej miary odniesionych. Często bardzo zachodzi wątpliwość, czy waga atomowa danego pierwiastku lub związku nie powinna być podwojona lub przepolowiona. Ztąd niemożność porównywania między sobą ilości przez formuły nasze wyrażonych, jako wielkości różnorodnych. Ztąd trudność wyprowadzenia ogólnych wniosków o prawach, jakim podlegają stosunki różnych ciał przy łączeniu się ich z sobą.

Wątpliwości te nauka nowsza stara się usunąć, podając nowe kryteria do ocenienia stosunkowej wielkości wag atomowych. Wprzód jednak nim do rozbioru tych nowych zapatrywań przystąpimy, przypomnijmy sobie, że wątpliwości, o których wyżej mówiliśmy, rzeczywiście istnieją.

Wagę atomową nazwaliśmy tę ilość najmniejszą danego pierwiastku, jaka łączyć się może z jedną częścią wodoru na wagę.

Jeżeli pierwiastek jaki jak np. chlor daje tylko jeden związek z wodorem, a zatem w jednym tylko stosunku łączy się z wodorem, nie mamy żadnego powodu przypuszczać, że w utworzonym związku znajduje się więcej niż jeden atom chloru. Skoro więc w kwasie solnym rozbiór chemiczny wykazuje 35,5 części chloru na wagę, na 1 część wodoru, powiadamy że waga atomowa chloru jest 35,5 i piszemy kwas solny formułą HCl .

Skoro pierwiastki takie jak potas, sod, wapień, magnez i t. p. nie łączą się bezpośrednio z wodorem, możemy dla oznaczenia ich wagi atomowej poddać rozbiorowi związki ich z innym pierwiastkiem, na przykład z chlorem, i oznaczyć ile części na wagę tych metali przypada na 35,5 części chloru, a znalazłszy w chlorku potasu 39,1 cz. potasu, w chlorku

sodu 23 cz. sodu, w chlorku magnezu 12 cz. magnezu i t. d. na 35,5 cz. chloru; będziemy mieli również ich wagi atomowe.

Lecz jeżeli pierwiastek jaki wydaje więcej jak jeden związek z wodorem, lub więcej jak jeden związek z chlorem, rzecz staje się wątpliwą, w którym z tych dwóch związków przyjąć należy jeden atom tego pierwiastku na jeden atom wodoru. Tak na przykład wodór wydaje z tlenem dwa związki: jeden z nich stanowi zwyczajną wodę, drugi tak zwaną wodę utlenioną. W pierwszym rozbiór chemiczny wykazuje na jedną część wodoru na wagę, ośm części tlenu, w drugim szesnaście części tlenu. Zachodzi pytanie, czy waga atomowa tlenu jest ośm, czy szesnaście. W pierwszym razie w wodzie zwyczajnej znajdowałby się jeden atom tlenu, na jeden wodoru, i wzór jej byłby HO, w wodzie zaś utlenionej znajdowałyby się dwa atomy tlenu i wzór jej byłby HO₂. W drugim razie w wodzie utlenionej byłby jeden atom tlenu na jeden atom wodoru i wzór jej byłby HΘ (Θ = 16), a w wodzie zwyczajnej przyjąłby należało na jeden atom tlenu, dwa atomy wodoru i wzór jej byłby H₂ Θ (Θ = 16). Przyjmowano dotąd w takich wypadkach za zasadę, że związek trwalszy trudniej podlegający rozkładowi ma skład: jeden atom na jeden atom, i wyrażano wodę przez HO, a wodę utlenioną przez HO₂.

W innych razach rozstrzygała równokształtność lub analogia chemicznego zachowania; przyjmowano bowiem, że związki posiadające jednaki kształt krystaliczny, lub odznaczające się zachowaniem analogicznem, złożone są z jednakięj liczby atomów.

Tak na przykład żelazo łączy się w kilku stosunkach z tlenem. W najniższym związku znajdujemy na 8 cz. tlenu, 28 cz. żelaza, w wyższym 18²/₃ cz. żelaza. Jeżeli liczbę 28 będziemy uważali za wagę atomową żelaza, w takim razie pierwszy związek będzie miał wzór FeO, drugi wzór Fe₂O₃. Gdybyśmy liczbę 18²/₃ przyjęli za wagę atomową żelaza, to najniższy związek miałby wzór Fe₃O₂, a wyższy FeO. Ponieważ sole związku najniższego, to jest tlenku żelaza są równokształtne z solami magnezyi, której dajemy wzór MgO, jako wydającej tylko jeden związek tlenowy; więc wyrażamy tlenek żelaza przez formułę FeO, przyjmujemy wagę atomową 28 i dajemy tlenikowi żelaza wzór Fe₂O₃.

W glince na ośm części tlenu, znajduje się 9,13 cz. glinu. Gdyby tę liczbę przyjąć za wagę atomową glinu, wzór glinki byłby AlO, ale ponieważ glinka w zachowaniu chemicznem nie ma żadnego podobieństwa z magnezją (MgO), barytą (BaO), potażem (KO), a okazuje wielką analogią z tlenikiem żelaza; przeto dajemy jej wzór Al₂O₃ i przyjmujemy, że waga atomowa glinu jest 13,7.

Dla tego samego rodzaju powodów przyjmuje się jednakowy skład atomowy, dla kwasów siarczanego (SO_3), manganowego (MnO_3) i chromowego (CrO_3), dla kwasu fosforowego (PO_5), arsenowego (AsO_5) i antymonowego (SbO_5) i t. d.

Dane te jednak chociaż już różnorodne same przez się, w niektórych razach jeszcze nie wystarczają. Tak np. tlenek berylu okazuje w pewnych razach zachowanie podobne do zasad grupy magnezyi, w innych do zasad takich jak glina i tlenek żelaza. Niewiadomo czy mu dać wzór BeO czy Be_2O_3 , czy liczbę 4,7, czy też 7 przyjmując za wagę atomową berylu.

Krzemionka ma zachowanie odrębne które nielatwo daje się porównać z zachowaniem innych związków. W krzemionce rozbiór chemiczny wykazuje na 8 cz. tlenu, 7 cz. krzemu. Jeżeli formuła krzemionki ma być SiO , to waga atomowa krzemu jest 7, jeżeli SiO_2 to waga atomowa będzie 14, jeżeli SiO_3 to waga będzie 21. Do ostatnich czasów jedni chemicy uważali liczbę 14, inni liczbę 21 za właściwszą. Dopiero niedawno, z innych względów nad którymi później bliżej się zastanowimy, zgodzono się dość ogólnie na wagę atomową 14 i wzór SiO_2 .

Niepewności takich możnaby przytoczyć więcej. Lecz nie dość na tém. Wagi atomowe w ten sposób przyjęte, mogą być uważane za wątpliwe, skoro tylko inny skład przyjmujemy w związkach głównych, z którymi inne porównujemy. Nie może być na przykład wątpliwości, że jeżeli wodę wyrażamy przez HO i za wagę atomową tlenu przyjmujemy liczbę 8, w takim razie siarkowodor, okazujący wielką analogią zachowania z wodą, należy pisać HS , i za wagę atomową siarki przyjmując liczbę 16. Ale czy woda ma być HO , lub H_2O , na tém wszakże tylko oparliśmy, że woda zwyczajna stanowi związek trwalszy od wody utlenionej. *Berzeliusz* a za nim wielka liczba innych chemików, dawali wodzie zwyczajnej wzór H_2O , z powodu że do utworzenia wody potrzebne są dwie objętości wodoru i jedna objętość tlenu. Stosunek objętości uważał *Berzeliusz* za wyrażający prawdopodobnie i stosunek atomów. Podobnie nie może być kwestyi, że jeżeli magnezyi dajemy formułę MgO , tlenek żelaza, cynku, manganu, niklu muszą mieć odpowiednie formuły FeO , ZnO , MnO , NiO , ale czy nie powinniśmy wyrazić magnezyi formułą Mg_2O , a w takim razie zmienić i formuły tych tlenków, to rzecz wątpliwa.

Wagi więc atomowe na powyżej wymienionych, a dawniej wyłączanie rozstrzygających danych oparte, jako mające różną nieraz podstawę, nie dają nam pewności, że są wielkościami ściśle do tej samej miary odniesionymi.

I dzisiejsza nauka nie podaje nam dotąd środków do oznaczenia wielkości bezwzględnej lub wagi bezwzględnej atomów. Ale mamy dziś już dane wystarczające prawie zawsze, do stanowczego oznaczenia wagi stosunkowej, wagi względnej atomów, odniesionej do wagi jakiegokolwiek bądź pierwiastku wziętego za jedność. Do oznaczenia stosunkowych wag atomowych prowadzą nas wywody tak pod względem własności fizycznych jak i chemicznych, a własności związków węgla daleko lepiej niż własności związków mineralnych służyć nam mogą w tym celu.

Zacniemy naprzód od wywodów opartych na własnościach fizycznych; zanim jednak do tego przystąpimy, przypomnieć musimy, że należy odróżniać pojęcie atomu, od pojęcia cząsteczki (molecule).

Atomem nazywamy tę najmniejszą, już dalej chemicznie niepodzielną ilość danego pierwiastku, która w związku istnieć może.

Cząsteczką nazywamy tę najmniejszą ilość danego ciała, która w stanie wolnym istnieć może i przy procesach chemicznych w działanie wchodzi.

Atomy są obdarzone własnością przyciągania. Przyciąganie wzajemne atomów objawia się jako powinowactwo chemiczne, stanowi to, co przyciąganiem chemicznym nazywamy. Związek chemiczny powstaje przez ułożenie obok siebie atomów różnorodnych. Każdy więc związek chemiczny, każda ilość jego najmniejsza w stanie wolnym istniejąca, każda cząsteczka, składać się musi przynajmniej z dwóch pojedynczych atomów. Z samej już natury atomów prawdopodobną jest rzeczą, że atomy nigdy istnieć nie mogą pojedynczo w stanie odosobnionym. Występując ze związku, atomy jednego i tego samego ciała, jeżeli nie mają przed sobą atomów różnorodnych, z któremi by się połączyć mogły, łączą się podług wszelkiego prawdopodobieństwa między sobą, i zobojętniają tym sposobem swą dążność przyciągania, tak, że najmniejsza ilość ciała pojedynczego w stanie wolnym, czyli cząsteczka ciała pojedynczego, złożoną jest z dwóch atomów. Na tej zasadzie wodór wolny uważać winniśmy za wodorek wodoru, chlor wolny za chlorek chloru, tak jak kwas solny uważamy za chlorek wodoru:

H H
cząsteczka
wodoru

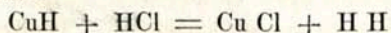
H Cl
cząsteczka
kwasu solnego

Cl Cl
cząsteczka
chloru.

Wyobrażenie to tłumaczy, dlaczego pierwiastki w stanie wolnym daleko słabsze posiadają powinowactwa niż w stanie wydzielania się ze związku, *in statu nascendi*; w pierwszym bowiem razie przewyżczone być musi powinowactwo wzajemne dwóch atomów tego samego pierwiast-

ku, w drugim razie pierwiastki występując ze związku, wchodzą w działanie jako pojedyncze atomy z całą siłą swego powinowactwa.

Piękny także przykład w tym względzie, przedstawia zachowanie związku miedzi z wodorem (CuH) odkrytego przez *Wurtza*. Związek ten działaniem kwasu solnego przechodzi z gwałtowném wywiązaniem wodoru w chlorek miedzi:



Kwas solny jak wiadomo nie działa na miedź samą. Jakimże sposobem mógłby rozłożyć jej związek z wodorem, gdzie jeszcze powinowactwo miedzi do wodoru przewyżczone być musi, jeżeliby nie przypuścić, że powinowactwo wodoru wodorku miedzi do wodoru kwasu solnego, przyczynia się do tego rozkładu.

Wiadomo że azot nie łączy się bezpośrednio z tlenem (wyjawszy pod wpływem iskry elektrycznej), ale już *Cavendish* zauważył, że przy paleniu wodoru w powietrzu, jednocześnie azot powietrza w dość znacznej ilości łączy się z tlenem tego powietrza. Wytlumaczenie tego faktu znajdujemy w przypuszczeniu, że cząsteczka tlenu składa się z dwóch atomów, z których gdy jeden łączy się z wodorem na wodę, drugi będąc *in statu nascendi* łączy się z azotem.

Przykładów takich moglibyśmy więcej jeszcze przytoczyć, ale zobaczymy zaraz jak daleko ważniejsze fakta przemawiają za tém nowém wyobrażeniem.

Ciała materyalne stałe, ciekłe lub gazowe złożone są z cząsteczek materyalnych, w pewném oddaleniu od siebie będących. Stosunek między wielkością tych cząsteczek, a ich odległością od siebie, u ciał stałych i płynnych zdaje się być bardzo różnym. Dotychczas przynajmniej nie mamy dostatecznych środków do ocenienia tego stosunku i wykazania zachodzących w tym względzie prawidłowości.

Inaczej się rzecz ma z gazami. Już *Avogadro* w r. 1811 zwrócił na to uwagę, że wszystkie własności gazów przemawiają za wyobrażeniem, że w jednakowej objętości gazów, znajduje się jednakowa ilość cząsteczek materyalnych *). Gazy tak muszą być zbudowane, że wielkość cząsteczek materyalnych w porównaniu do ich odległości od siebie musi być nadzwyczajnie mała.

Na poparcie tego wyobrażenia przytoczyć tylko trzeba, że wszystkie gazy rozszerzają się jednostajnie i jednakowo działaniem ciepła, że wszystkie gazy zmniejszają objętość jednakowo i proporcjonalnie do ciśnienia jakie

*) Rozumie się w tych samych warunkach pod względem ciśnienia i temperatury.

na nich ciąży. Opór, jaki gazy stawiają ciśnieniu, zależy być może tylko od ilości cząsteczek materyalnych. Opór ten jest jednakowy u wszystkich gazów; ilość więc cząsteczek materyalnych w danej przestrzeni musi być jednakowa.

Jeżeli teraz ilość cząsteczek materyalnych w równych objętościach, w jednym centymetrze sześciennym na przykład, jest jednakowa u wszystkich gazów; to waga tych równych objętości, zależną będzie już tylko od wagi samych cząsteczek, a nie od ich ilości. Waga równych objętości, jest to ciężar właściwy. Ciężar więc właściwy gazów jest zależny od wagi pojedynczych cząsteczek materyalnych; stosunki między ciężarami właściwymi wyrażać będą jednocześnie stosunki wagi między pojedynczymi cząsteczkami materyalnemi.

Jeżeli nakoniec cząsteczki materyalne gazów, cząsteczki fizyczne, są jednocześnie (u gazów) najmniejszymi chemicznymi ilościami, które istnieć mogą w stanie odosobnionym; jeżeli więc są zarazem cząsteczkami chemicznymi, (to jest, jeżeli cząsteczka fizyczna nie składa się z kilku cząsteczek chemicznych): w takim razie ciężary właściwe gazów powinny być w tym samym stosunku między sobą, co wagi cząsteczkowe tych gazów. Wagi atomowe na drodze chemicznej osiągnięte przedstawiać nam mają względną wagę pojedynczych cząsteczek chemicznych, ciężary właściwe gazów od tej samej względnej wagi pojedynczych cząsteczek są zależne, gdyż ilość cząsteczek w równych objętościach gazów jest jednakowa.

Porównajmy teraz wagi atomowe gazów z ich ciężarami właściwymi na pewnej liczbie przykładów *).

	Nazwa gazu.	Waga atomowa.	C. wł.	Stosunek.
	<i>Związki.</i>			
Kwas solny	ClH	36, 5	— 1,264	28,88
Amoniak	H_3N	17	— 0,589	28,88
Etylen	C_4H_4	28	— 0,969	28,88
Kwas pruski	C_2NH	27	— 0,935	28,88
Kwas octowy	$\text{C}_4\text{H}_4\text{O}_4$	60	— 2,078	28,88
Chlorek etylu	$\text{C}_4\text{H}_5\text{Cl}$	64, 5	— 2,233	28,88
Waleran etylu	$\text{C}_{14}\text{H}_{14}\text{O}_4$	13, 0	— 4,501	28,88
	<i>Pierwiastki.</i>			
Wodór	1	— 0,0693	14,44	
Azot	14	— 0,969	14,44	
Chlor	35, 5	— 2,458	14,44	
Brom	80	— 5,540	14,44	
Jod	127	— 8,795	14,44	

*) Pod nazwą gazów rozumiemy nie tylko gazy nieściśliwe, ale i pary ciał lotnych w temperaturach, w których pary te stosują się do prawa Mariotta.

Widzimy z powyższych przykładów, że gdybyśmy przypuścili, że najmniejsza ilość pierwiastków takich jak wodór, azot, chlor w stanie osobnym składa się z dwóch atomów; gdybyśmy więc zamiast ich wag atomowych położyli ich wagi cząsteczkowe dwa razy tak wielkie: przyszlibyśmy w takim razie do stwierdzenia o g ó ł n e j prawidłowości, że stosunki między wagami cząsteczkowymi, są te same co stosunki między ciężarami właściwymi. Dwojakiego więc rodzaju liczby, z których jedne osiągnięte są za pomocą chemicznego rozbioru, drugie za pomocą fizycznych spostrzeżeń, prowadzą do jednych i tych samych stosunków i wymownie przemawiają za t é m, że 1^o w jednakowych objętościach gazów znajduje się jednakowa ilość cząsteczek fizycznych, że 2^o cząsteczka fizyczna gazów jest jednoznaczna z cząsteczką chemiczną, że 3^o cząsteczki ciał prostych czyli pierwiastków złożone są z dwóch przynajmniej atomów.

Nadmienić jeszcze wypada, że liczby wyrażające ciężary właściwe i liczby wyrażające wagi cząsteczkowe dla tego tylko są różne, że odnosimy je do różnych jednostek. Gdybyśmy ciężary właściwe i wagi cząsteczkowe odnosili do t é j samej jednostki, liczby wypadłyby naturalnie zupełnie jedne i te same. Ciężary właściwe są odniesione do powietrza wziętego za jedność, wagi cząsteczkowe do wodoru wziętego za jedność. Wodór jest lżejszy od powietrza 14,44 razy, dość więc jest pomnożyć ciężar właściwy jakiego gazu przez $2 \times 14,44$ aby mieć jego wagę c z ą s t e c z k o w ą, to jest wagę odniesioną do d w ó c h atomów wodoru, do cząsteczki wodoru.

Niektóre wszakże pierwiastki jak tlen, siarka i im podobne, przy porównaniu dotychczas używanych dla nich wag atomowych z ciężarami ich właściwymi w stanie gazu, dają stosunki jeszcze dwa razy mniejsze niż stosunki, które w wyżej umieszczonej tablicy dla pierwiastków wypadły.

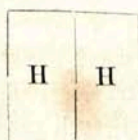
Nazwa pierw.	Waga at.	C. wł.	Stosunek
Tlen	8	1,108	7, 22
Siarka	16	2,216 *)	7, 22

Liczby te naprowadzają na myśl, że wagi atomowe takich pierwiastków winny być podwojone, że waga atomowa tlenu jest 16 (Θ), waga atomowa siarki jest 32 (S). Cząsteczka tlenu będzie ΘΘ, cząsteczka siarki będzie SS, formuła cząsteczkowa wody będzie H₂Θ, formuła siarkowodoru H₂S. Przy tak przyjętych wagach atomowych, pierwiastki te jak i ich związki będą okazywały zgodność z ogólną prawidłowością:

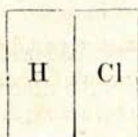
*) W temperaturze około 1000°, kiedy c. wł. pary siarki już się dalej nie zmienia (Déville).

	Nazwa związku	Waga at.	C. wł.	Stosunek
Woda	H_2O	18	0,623	28,88
Siarkowodor	H_2S	34	1,177	28,88
Kwas siarkawy	SO_2	64	2,216	28,88

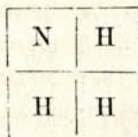
Ponieważ ciężary właściwe wyrażają wagę równych objętości, a przy przyjęciu formuł cząsteczkowych, wagi cząsteczkowe i ciężary właściwe są jednemi i temi samemi liczbami; przeto wagi cząsteczkowe przedstawiają nam równe objętości danych związków lub pierwiastków w stanie gazu. Ilości więc przez wagi cząsteczkowe wyrażone zajmują w stanie gazu jednaką objętość, objętość równą tej, jaką zajmują dwa atomy wodoru, czyli cząsteczka wodoru. Wagi cząsteczkowe, jak pospolicie mówią teraz chemicy, odpowiadają dwóm objętościom. Schematycznie wskazać to można w sposób następujący:



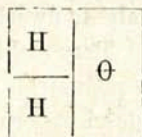
2 atomy wodoru, v. cząsteczka wodoru, v. 2 części na wagę wodoru = 2 objętościom.



cząsteczka kwasu solnego, 36,5 części na wagę = 2 objętościom.



cząsteczka amoniaku, 17 cz. na wagę = 2 objętościom.



cząsteczka wody, 18 cz. na wagę = 2 objętościom.

Tak więc dwie części na wagę wodoru, 36,5 cz. na wagę kwasu solnego, 17 cz. na wagę amoniaku, 18 cz. na wagę wody, to jest ilości wyrażone przez wagi cząsteczkowe, wypełniają w stanie gazu jednaką objętość. Formuły cząsteczkowe odniesione są pod tym względem ściśle do jednej miary—formuły cząsteczkowe przedstawiają wielkości, które mogą być ze sobą porównywane.

Używanie dla związków chemicznych formuł cząsteczkowych, to jest formuł przedstawiających takie ilości, które w stanie gazu zajmują dwie objętości, prowadzi za sobą tę wielką korzyść, że formuły takie podają nam oprócz stosunków na wagę, stosunki w jakich dane ciała łączą się na objętość i stosunki, w jakich zagęszczenie przyłączeniu się ich ze sobą następuje.

Wiadomą jest rzeczą, że jeżeli dwa gazy łączą się z sobą w stosunku jednej objętości na jedną objętość, wówczas pospolicie nie ma zagęszczenia żadnego. Fakt ten wyrażają formuły cząsteczkowe związków

tego rodzaju. Tak np. 1 objętość chloru, łączy się z jedną objętością wodoru i wydaje dwie objętości kwasu solnego. Formuła cząsteczkowa kwasu solnego jest: ClH . Formuła ta jak wszystkie cząsteczkowe, przedstawia dwie objętości. Częściami składowymi tej formuły są: pół cząsteczki chloru i pół cząsteczki wodoru czyli 1 objętość chloru i 1 objętość wodoru. Formuła więc wyraźnie wypowiada, że przy połączeniu zagęszczenia nie było.

Wiadomą jest rzeczą, że przy tworzeniu się wody z jej pierwiastków, dwie objętości wodoru łączą się z jedną objętością tlenu i wydają dwie objętości pary wodnej, czyli że trzy objętości zagęszczają się do dwóch objętości. Fakt ten wyraża najzupełniej formuła cząsteczkowa wody: H_2O . Formuła ta, jako cząsteczkowa, odpowiada dwom objętościom. Częściami jej składowymi są: cząsteczka wodoru czyli dwie objętości wodoru i pół cząsteczki tlenu czyli jedna objętość tlenu, razem trzy objętości. Formuła więc wyraźnie wypowiada, że przy połączeniu te trzy objętości zagęszczone zostały do dwóch objętości.

Przy rozkładzie amoniaku, działaniem iskier elektrycznych, następuje podwojenie objętości i z dwóch objętości amoniaku otrzymuje się 3 objętości wodoru i 1 objętość azotu, czyli że przy łączeniu się tych gazów musi następować zagęszczenie tych czterech objętości do dwóch. Formuła cząsteczkowa amoniaku jest: H_3N . Przedstawia dwie objętości. Częściami jej składowymi są: $1\frac{1}{2}$ cząsteczki czyli 3 objętości wodoru i $\frac{1}{2}$ cząsteczki czyli 1 objętość azotu, razem 4 objętości. Formuła wykazuje, że te cztery objętości przy łączeniu się zagęszczają się do dwóch objętości.
